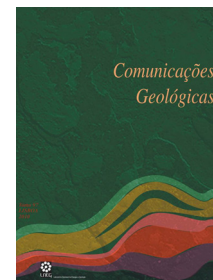


Deslizamentos na região de Arruda dos Vinhos numa perspectiva regional e local: resultados preliminares

Landslides from the Arruda dos Vinhos region in a regional and a local perspective: preliminary results

C. C. Jesus^{1,4*}, S. C. Oliveira², C. Sena³, F. Marques⁴



Artigo Curto
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: A Região Norte de Lisboa de uma forma geral, e a região de Arruda dos Vinhos em particular, apresentam condições naturais bastante favoráveis à ocorrência de movimentos de massa. Neste trabalho analisou-se o comportamento hidrodinâmico da bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa de modo a perceber a sua importância na estabilidade das vertentes desta região. Analisaram-se também as condições locais que favorecem a instabilidade das vertentes, através de retroanálises a dois deslizamentos. A comparação entre a ocorrência temporal dos 182 deslizamentos e a oscilação do nível freático regional revela uma associação evidente entre ambas as distribuições. Os deslizamentos associados ao Complexo das Camadas da Abadia, nomeadamente os que são superficiais ou de profundidade intermédia e do tipo rotacional, parecem ser mais sensíveis às oscilações do nível freático. Por outro lado, os movimentos profundos não parecem ocorrer em maior frequência para níveis freáticos regionais elevados. As retroanálises de dois deslizamentos rotacionais profundos, estudados à escala local, parecem indicar que as suas ocorrências estão fortemente associadas a reativações de movimentos antigos e a intervenções humanas nas vertentes.

Palavras-chave: Deslizamentos, Arruda dos Vinhos, Margas, Hidrologia.

Abstract: In general the north area of Lisbon and the Arruda dos Vinhos region in particular have natural conditions that greatly favour the occurrence of slope mass movements. In this study we analysed the hydrodynamic character of the Rio Grande da Pipa watershed in order to understand its influence in the stability of natural slopes. Local conditions affecting their stability were also analysed through back-analysis for two selected landslides. The comparison between temporal occurrences of 182 landslides that occurred in the hydrological year 2009/10 and the fluctuation of the regional water table reveals a clear association between both distributions. Shallow and intermediate deep-seated rotational landslides in the marls of Abadia geological unit are those that seem more sensitive to water table fluctuations. On the other hand, deep-seated landslides do not seem to occur more frequently during periods of high regional water table. The detail analyses of the two deep-seated and rotational landslides suggest that their occurrences correspond mainly to reactivations of past landslides and were influenced by human interventions in the area.

Keywords: Landslides, Arruda dos Vinhos, Marls, Hydrology.

⁴Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

*Autor correspondente / Corresponding author: ccesar.jesus@gmail.com

1. Introdução

A Região Norte de Lisboa apresenta condições naturais bastante favoráveis à ocorrência de movimentos de vertente. Ao longo das últimas décadas esta área tem sido objeto de vários estudos sobre a temática (ex. Coelho, 1979; Zêzere, 2001; Pimenta, 2011) com aproximações diversificadas. Análises mais recentes tendem a abordar o mesmo problema sob dois pontos de vista diferentes, mas complementares.

Uma dessas perspetivas preocupa-se especialmente com a distribuição espacial e temporal dos movimentos, com intuito de fornecer informação útil para aplicação ao ordenamento do território (ex. Zêzere, 2001; Oliveira, 2012; Garcia, 2012). Pela sua finalidade, normalmente estes estudos interessam-se principalmente por escalas menores, de âmbito regional.

Por outro lado, são também frequentes os estudos que se focam no conhecimento do comportamento geotécnico dos materiais, assim como nos modelos mecânicos envolvidos e nos efeitos da água na estabilidade das vertentes (ex. Jeremias, 2000; Alonso *et al.*, 2010).

Com o intuito de compreender melhor a relação entre o comportamento hidrodinâmico da bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa (região de Arruda dos Vinhos) e a ocorrência de manifestações de instabilidade de vertentes, e as condições locais que favorecem as mesmas, estabelecem-se como objetivos deste trabalho as seguintes análises, relativas ao ano hidrológico 2009/10:

(i) Aplicação de um modelo hidrológico regional de forma a determinar a relação entre as variações do conteúdo de água nos terrenos com a ocorrência de manifestações de instabilidade;

(ii) Retroanálises de dois deslizamentos à escala da vertente, de modo a simular as condições existentes durante a sua ocorrência.

¹GeoBioTec – Universidade de Aveiro

²RISKam, CEG, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

³CESAM – Universidade de Aveiro

2. Enquadramento

A área de estudo localiza-se aproximadamente a 20 km a Norte de Lisboa, na região de Arruda dos Vinhos e os seus limites são definidos pela linha de fecho que delimita os 110 km² da bacia do Rio Grande da Pipa.

Na região de Arruda dos Vinhos predominam as formações sedimentares do Jurássico Superior. As rochas mais antigas a aflorar na bacia do Rio Grande da Pipa ocupam 58% da área e correspondem às Camadas da Abadia, datadas do Kimeridgiano Inferior, e as mais recentes correspondem a aluviões holocénicas. No geral, predomina uma alternância entre calcários, margas e arenitos. O Complexo das Camadas da Abadia é constituído por argilitos, argilitos margosos, siltitos margosos e margas acinzentadas, por vezes laminados, com níveis mais ricos em intercalações de bancadas de arenitos compactos e resistentes.

As formações jurássicas presentes na área em estudo apresentam diferente comportamento hidrogeológico consoante a sua litologia, podendo fazer-se a distinção em dois grupos.

Nas formações do Complexo da Abadia de natureza margo-argilosa a percolação tende a ser muito reduzida devido à baixa permeabilidade quer das formações quer dos solos de cobertura silto-argilosos, com exceção dos níveis de arenitos e calcários intercalados nas margas e argilitos, onde a água se infiltra mais facilmente. Em eventos de maior pluviosidade a baixa permeabilidade dos materiais favorece a subida do nível freático, levando à saturação dos terrenos e consequentemente à escorrência superficial (Pimenta, 2011).

Nas formações jurássicas mais recentes, onde predominam os níveis com calcários, verifica-se que a água circula preferencialmente através de fraturas, podendo eventualmente ficar retida nos solos de cobertura silto-argilosos de baixa permeabilidade.

3. Materiais e métodos

O trabalho aqui desenvolvido divide-se em duas partes essenciais: análise regional e análise local de deslizamentos. Numa primeira parte faz-se uma análise dos deslizamentos ocorridos no ano hidrológico 2009/10 à escala regional, que engloba a totalidade da bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa. Para analisar o comportamento hidrodinâmico da bacia recorreu-se ao *software* Visual Balan v.2.0 (Samper *et al.*, 1999). Este código foi escolhido porque permite, de forma relativamente simples, o cálculo dos balanços hídricos diários no solo, na zona não saturada e no aquífero de uma bacia hidrográfica, possibilitando o cálculo diário do nível freático, assim como dos caudais totais de escorrência superficial, entre outros.

Os dados de entrada correspondem a valores diários de precipitação e de temperatura média. Neste caso utilizaram-se três estações do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (São Julião do Tojal, Arranhó e Meca). Estas estão localizadas em zonas próximas da bacia em estudo e a cotas altimétricas que

traduzem a variabilidade altimétrica da mesma. Os parâmetros hidráulicos do aquífero, da zona não saturada, e as características de cobertura do solo foram obtidos através de ensaios realizados no campo, e através de dados constantes em projetos de engenharia e outra bibliografia disponível. Os dados de calibração, inseridos posteriormente, referem-se aos caudais médios diários na estação Ponte Couraça, localizada no extremo jusante da bacia, para os mesmos anos hidrológicos. Alguns dos parâmetros hidráulicos referidos foram depois ajustados automaticamente pelo *software* a partir dos dados de calibração.

Os resultados do modelo hidrológico foram depois comparados com um inventário de campo que teve por base um levantamento geomorfológico sistemático da instabilidade de vertentes para o mesmo ano hidrológico e para a totalidade da área da bacia (cf. Oliveira, 2012).

Na segunda parte do estudo foram escolhidos dois movimentos do referido inventário para serem estudados de forma mais pormenorizada. Estes dois movimentos foram escolhidos não só de acordo com a sua tipologia mas também pela existência de dados geotécnicos e mais fácil acesso a informação hidrológica nas zonas onde ocorreram. Nestes casos foi feita uma retroanálise dos mesmos tentando simular, com o maior detalhe possível, as condições existentes durante a sua ocorrência. Para cada caso foi desenvolvido um modelo geológico com base em sondagens e poços de reconhecimento realizados em zonas próximas, tendo depois sido testadas várias soluções no *software* Slope/W[®] 2004. Este permite avaliar a estabilidade das vertentes para várias condições do nível freático, assim como para variações dos parâmetros de resistência dos materiais.

4. Resultados e discussão

No ano hidrológico de 2009/10 registaram-se, na região Norte de Lisboa, quantitativos de precipitação elevados. O valor anual aqui determinado para a bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa (1276 mm, considerando as estações de São Julião do Tojal e Arranhó) atinge um valor próximo do dobro do valor médio anual para a estação de S. Julião do Tojal (730 mm segundo Zêzere, 1997).

Da aplicação do modelo hidrológico aos registos de precipitação foi possível verificar que, nesse ano hidrológico, 40% das entradas foram devolvidas à atmosfera via evapotranspiração, 28% alimentou o fluxo hipodérmico que ocorre subparallelamente à superfície topográfica na zona não saturada, 18% foi convertida em escorrência superficial e 14% alimenta a descarga subterrânea. Considerando a baixa permeabilidade das formações que compõem grande parte da bacia, a elevada componente atribuída ao fluxo hipodérmico parece refletir a importância das camadas de arenito e de calcário, que intercalam as margas da Abadia, como zonas preferenciais de circulação de água, relativamente ao material envolvente.

O modelo hidrológico revela igualmente uma oscilação do nível freático regional que atinge um incremento máximo de pouco mais de 0,8 m entre 08 e 19 de março de 2010

(Fig. 1), relativamente ao valor mínimo normalmente atingido no final ano hidrológico.

Associados a estas condições meteorológicas e hidrológicas, foram registados na bacia hidrográfica 182 deslizamentos, sendo 64% destes superficiais; 76% do tipo rotacional; e 76% ocorreram no Complexo das Camadas da Abadia.

A comparação entre a distribuição temporal dos deslizamentos e a oscilação regional do nível freático, revela que existe uma associação evidente entre ambas as distribuições, sendo que ambos os máximos coincidem (Fig. 1). Note-se que os 33 movimentos registados no dia 11 de março de 2010 ocorreram efetivamente num intervalo de 24 horas, uma vez que tinha sido feito um outro registo no dia anterior. Os movimentos ocorreram especialmente na fase ascendente do nível freático e quando este atinge o seu máximo, havendo menos registos de movimentos quando o mesmo, apesar de elevado, começa a descer.

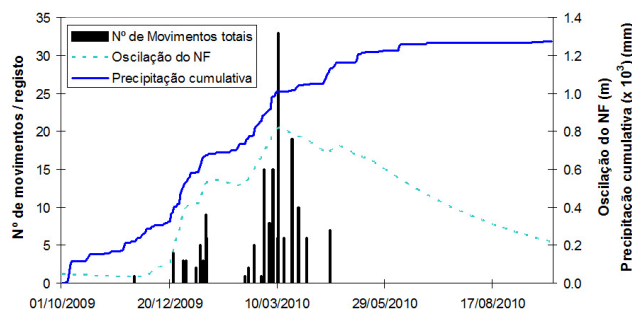


Fig. 1. Oscilação do nível freático regional, calculado no Visual Balan v.2., precipitação acumulada e número de movimentos de vertente registados (por saída de campo) no ano hidrológico 2009/10, na bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa.

Fig. 1. Regional water table fluctuation determined in Visual Balan v.2., accumulated rainfall and number of landslides registered (per field trip) in the hydrological year 2009/10 in the Rio Grande da Pipa watershed.

As comparações entre a oscilação do nível freático regional e a distribuição temporal dos deslizamentos, diferenciados segundo a litologia envolvida, a profundidade da superfície de rotura e a fisionomia da superfície de rotura, revelam que os movimentos associados ao Complexo das Camadas da Abadia, nomeadamente aqueles que são superficiais (profundidade máxima da superfície de rotura < 1,5 m) ou intermédios (1,5 – 5 m) e do tipo deslizamento rotacional são mais sensíveis às oscilações do nível freático. Porém, as restantes classes (especialmente os movimentos profundos, ou aqueles associados a outras litologias) não parecem ter aumentado de frequência com o aumento generalizado do nível freático na bacia hidrográfica.

Os deslizamentos profundos (superfície de rotura com profundidades máximas superiores a 5 m) foram muito menos frequentes (11 registos) que os deslizamentos superficiais e intermédios (116 e 55 registos, respetivamente). De acordo com os resultados das sondagens e dos poços de reconhecimento reportados em Cenorplan (2004), nesta zona é comum que a espessura das margas muito alteradas atinja valores entre 2 e 4 m, havendo também zonas onde as profundidades de alteração são

superiores. Provavelmente estes deslizamentos profundos são menos frequentes porque necessitam que haja uma espessura de margas degradadas maior a 5 m, o que parece ocorrer apenas em situações particulares.

Os movimentos profundos não parecem ocorrer em maior frequência quando o nível freático regional atinge valores mais elevados. Tendo em conta os níveis freáticos observados em poços feitos nas margas da Abadia, este nível nunca foi encontrado a profundidades superiores a 3,5 m, mesmo no final do verão, após várias semanas sem precipitação. As superfícies de rotura de grande parte dos movimentos profundos provavelmente atravessam zonas que se encontram saturadas durante todo o ano. Assim, a proporção de terreno que passa a estar saturado durante períodos em que o nível freático está elevado é proporcionalmente inferior nos movimentos profundos relativamente aos movimentos superficiais ou intermédios, onde esse incremento pode corresponder à totalidade da espessura de solo instabilizada.

Os dois deslizamentos escolhidos para uma análise mais detalhada são movimentos rotacionais e profundos, designados pelos autores como movimento do Espigueiro (Fig. 2) e das Cachoeiras (Fig. 3). Estes iniciaram-se entre 23 e 30 de dezembro 2009 e entre 17 de janeiro e 17 de fevereiro de 2010, respetivamente.



Fig. 2. Cicatriz principal do deslizamento do Espigueiro a 30 de dezembro 2009; as setas apontam para a referida cicatriz.

Fig. 2. Main scarp of the Espigueiro landslide on December 30th 2009; arrows point to the referred scarp.



Fig. 3. Fase inicial do deslizamento das Cachoeiras a 17 de fevereiro 2010; as setas apontam para a cicatriz do deslizamento.

Fig. 3. Initial phase of the Cachoeiras landslide on February 17th 2010; arrows point to the main scarp.

As observações de campo permitem concluir que os deslizamentos ocorreram em zonas com condições hidrogeológicas particulares, havendo exsurgências de água em áreas próximas. No entanto, e talvez mais importante que as condições hidrogeológicas locais, a análise histórica destes locais revela que ambos ocorreram em zonas:

i) onde anteriormente já tinham ocorrido deslizamentos; áreas instabilizadas já visíveis no levantamento aerofotográfico de 1983 da FAP;

ii) fortemente intervencionadas pelo Homem, nomeadamente através da construção de aterros ou modelações do terreno. Estas alterações representam não só um aumento da carga sobre os terrenos naturais, como também a adição de materiais com características geotécnicas evolutivas, com importantes implicações na estabilidade das vertentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Brisa – Engenharia e Gestão, SA a disponibilização de informação colhida a propósito da construção da A10. Gostávamos igualmente de agradecer a Eduardo Calçada, proprietário de um dos terrenos estudados em maior detalhe, pela completa disponibilidade e permissão da realização de medições e ensaios nos seus poços. Agradecem-se também os comentários de um revisor anónimo que permitiram tornar o trabalho mais claro.

Referências

- Alonso, E.E., Pineda, J.A., Cardoso, R., 2010. Degradation of marls; two case studies from the Iberian Peninsula. In: D. Calcaterra, M. Parise, (Eds). *Weathering as a Predisposing Factor to Slope Movements*. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publication*, **23**, 47-75.
- Cenorplan, 2004. *Projecto de Execução da A10 – trechos 1 e 2*.
- Coelho, A.G., 1979. Análise cartográfica de estabilidade de taludes para o planeamento urbano. *Geotecnia*, **26**, 75-89.
- Garcia, R., 2012. Metodologias de Avaliação da Perigosidade e Risco associado a movimentos de vertente. Aplicação na bacia do rio Alenquer. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa (não publicada), 437 p.
- Jeremias, F.T., 2000. *Geological controls on the engineering properties of mudrocks of the north Lisbon area*. PhD Thesis, University of Sheffield (unpublished), 464 p.
- Oliveira, S.M.C., 2012. Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na bacia do Rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos). Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa (não publicada), 452 p.
- Pimenta, R., 2011. Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente com métodos de base física. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa (não publicada), 114 p.
- Samper, J., Llorens, H., Ares, J., García, M.A., 1999. *Tutorial for the program Visual Balan V.1.0. Interactive code for calculation of hydrologic balances and recharge estimation*. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de La Coruña, ENRESA Technical Publication 05/99, 132 p.
- Zêzere, J.L., 1997. Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa (não publicada), 575 p.
- Zêzere, J.L., 2001. *Distribuição e ritmo dos movimentos de vertente na região a norte de Lisboa*. Centro de Estudos Geográficos. Área de Geografia Física e Ambiente. 38. Lisboa.